

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
UNIVERZITNÍ STUDIJNÍ PROGRAMY

**Návrh a výpočet kapacity akumulátoru elektromobilu**  
**Design and capacity calculation of electromobile accumulator**

Student: Ondřej Pražák

Vedoucí práce: prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.

Ostrava 2011

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Podpis, datum

### **Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

Podpis.....

Jméno a příjmení autora práce:

Ondřej Pražák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Tyršova 11, Ostrava 1

702 00

### **Poděkování**

Děkuji prof. Ing. Petru Chlebišovi, CSc. za hodnotné rady, odborné vedení a hlavně za čas, který mi věnoval během vedení mé práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou navrhování kapacity akumulátoru pro dvě koncepce elektromobilu. V první části je provedeno zamyšlení nad kritérii pro dimenzaci kapacity akumulátoru a popis obou koncepcí. Ve druhé části jsou stanoveny požadavky na dynamiku jízdních úkonů s ohledem na jízdní manévry vozidla a jejich fyzikální řešení. Nakonec ve třetí části je proveden samotný výpočet s pomocí programu MS Excel 2007 a shrnutí výsledků.

## **Abstract**

Bachelor paper is concerned by the questions of designing accumulator's capacity for two conceptions of electromobile. In the first part is done thought about criteria for dimensioning of accumulator's capacity and description of both conceptions. In the second part are determined requirements for dynamics of driving operation with regards to driving maneuvers of the vehicle and their physical solution. Eventually in the third part is done the calculation itself with MS Excel 2007 and results summary.

## **Klíčová slova:**

Jízdní odpory, kapacita akumulátoru, elektromobil, koncepce elektromobilu,

## **Keywords:**

Driving resistances, accumulator capacity, electromobile, conceptions of electromobile

## Obsah

Seznam obrázků .....	8
Seznam tabulek .....	9
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	10
Úvod .....	11
1 Kritéria pro dimenzování akumulátoru elektromobilu .....	12
1.1 Odpor valení.....	12
1.2 Odpor sklonu.....	13
1.3 Odpor vzduchu .....	13
1.3.1 Čelní plocha $S_x$ .....	14
1.3.2 Součinitel odporu vzduchu $c_x$ .....	15
1.4 Odpor zrychlení.....	15
1.5 Odpor tahu přípojného vozidla .....	15
2 Rovnice pohybu silničního vozidla .....	16
3 Koncepce elektromobilu .....	17
3.1 Obecný popis elektromobilu .....	17
3.2 Návrh první koncepce.....	17
3.2.1 Mitsubitshi i-Miev.....	18
3.3 Návrh druhé koncepce .....	19
3.3.1 Tesla model S.....	19
4 Jízdní dynamika.....	21
5 Výběr trasy pro první koncepci .....	22
5.1.1 Fyzikální řešení trasy pro první koncepci.....	23
5.1.2 Tabulka vypočtených a naměřených hodnot – trasa pro první koncepci .....	27
6 Výběr trasy pro druhou koncepci .....	28
6.1.1 Fyzikální řešení trasy pro druhou koncepci.....	29
6.1.2 Tabulka vypočtených a naměřených hodnot - trasa pro druhou koncepci .....	36
7 Samotný výpočet výkonů potřebných k projetí trasy a následné dimenzování akumulátoru .....	37
7.1 Výpočet pro první koncepci a první trasu .....	37
7.1.1 První tabulka z programu MS Exel 2007 .....	37
7.1.2 Druhá tabulka z programu MS Exel 2007 .....	38
7.1.3 Třetí tabulka z programu MS Exel 2007 .....	39
7.1.4 Čtvrtá tabulka z programu MS Exel 2007 .....	39
7.1.5 Zhodnocení první koncepce a první trasy.....	40
7.2 Výpočet pro druhou koncepci a druhou trasu .....	40
7.2.1 První tabulka z programu MS Exel 2007 .....	41
7.2.2 Druhá tabulka z programu MS Exel 2007 .....	41
7.2.3 Třetí tabulka z programu MS Exel 2007 .....	42

7.2.4	Čtvrtá tabulka z programu MS Exel 2007 .....	42
7.2.5	Zhodnocení druhé koncepce a druhé trasy .....	42
Závěr .....		44
Seznam použité literatury .....		45
Přílohy .....		46

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1 rozklad sil při sklonu vozovky .....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2 planimetrické měření obrysu vozidla.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3 Mitsubitchi i-Miev .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 4 Tesla model S .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 5 trasa pro první koncepci .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 6 výškový profil trasy pro první koncepci s naznačením jednotlivých úseků a odečtem nadmořských výšek .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 7 trasa pro druhou koncepci .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 8 výškový profil trasy pro druhou koncepci s naznačením jednotlivých úseků a odečtem nadmořských výšek .....</i>	<i>28</i>



## Seznam tabulek

<i>Tab. 1 kvalita povrchu vozovky .....</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 2 odhady součinitele vzduchu a čelní plochy vozidla .....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 3 naměřené a vypočtené hodnoty na trase pro první koncepci .....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4 naměřené a vypočtené hodnoty na trase pro druhou koncepci .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 5 hodnoty konstant pro první koncepci .....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 6 výpočet odporu vzduchu a valivého odporu .....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 7 výpočet sklonu svahu .....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 8 výpočet výkonů a energií pro rovnoměrný pohyb .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 9 výpočet výkonů a energií pro zrychlený pohyb .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 10 přehled potřebné energie akumulátoru podle požadované vzdálenosti .....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 11 hodnoty konstant pro druhou koncepci .....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 12 výpočet odporu vzduchu a valivého odporu .....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 13 výpočet sklonu svahu .....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 14 výpočet výkonů a energií pro rovnoměrný pohyb .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 15 výpočet výkonů a energií pro zrychlený pohyb .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 16 přehled potřebné energie akumulátoru podle požadované vzdálenosti .....</i>	<i>43</i>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$O_f$	odpor valení	[N]
$O_v$	odpor vzduchu	[N]
$O_s$	odpor stoupání	[N]
$O_z$	odpor zrychlení	[N]
$O_t$	odpor tahu přípojného vozidla	[N]
$G$	tíhová hmotnost vozidla	[N]
$m$	hmotnost vozidla	[kg]
$g$	tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$\alpha$	úhel sklonu svahu	[°]
$c_x$	součinitel vzdušného odporu	[-]
$S_x$	čelní plocha vozidla	[m <sup>2</sup> ]
$f$	součinitel odporu valení	[-]
$v_r$	náporová rychlost větru	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_v$	rychlost větru	[m.s <sup>-1</sup> ]
$F_K$	tažná síla vozidla	[N]
$P_K$	výkon potřebný k pokrytí ztrát odporů	[W]
$s$	dráha	[m]
$a$	zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$t$	čas	[t]
$v$	rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]

## Úvod

V dnešní době je základní problém elektromobilů kvalitní a výkonný akumulátor elektrické energie. Základní otázka pro zjištění parametrů tohoto akumulátoru, by měla být, na co vlastně uživatel bude svůj elektromobil využívat. Ruku v ruce s tímto je poté třeba zjistit, jaké nejčastější jízdní úkony budou prováděny.

Zcela jistě bude mít jiné požadavky a potřeby řidič, který chce každý den jezdit efektivně a levně do zaměstnání a jiné řidič, který cestuje na delší meziměstské trasy nebo si chce jen užívat dynamickou sportovní jízdu. Je tedy na místě rozčlenit elektromobily na několik různých koncepcí a u každé z nich obsáhnout potřebnou oblast zájmu. Dynamika jízdních úkonů ve městě, kde se často zastavuje a rozjíždí, a není prostor pro rychlou jízdu, bude zatěžovat elektromobil jinak, než delší trasa, kde se budou střídat rovné úseky s kopcovitým terénem.

Správný návrh a výpočet akumulátoru je tedy velmi důležitý, protože pokud dojde k poddimenzování kapacity pro danou koncepci, bude to mít za následek rychlé vybíjení a nespokojenost ze strany uživatele a pokud dojde naopak k jeho přílišnému předimenzování, bude to klást zbytečné nároky na cenu a hmotnost akumulátoru a dojde k prodražení jak ze strany výrobce, tak ze strany koncového uživatele. Navíc příliš velké rozměry a hmotnost předimenzovaného akumulátoru vedou ke zbytečné ztrátě komfortu, snižují velikost vnitřních a zavazadlových prostor a ovlivňují jízdní vlastnosti.

V první části, která obsahuje kapitoly 1, 2 a 3 se zabývám kritérii, podle kterých lze určit potřebný výkon k překonání jízdních odporů, vzorci pro výpočet tohoto výkonu a návrhem dvou koncepcí elektromobilu, které budou využity k výpočtům.

Ve druhé části, která obsahuje kapitoly 4, 5 a 6 se zabývám jízdní dynamikou, jízdními manévry, návrhem dvou různých tras, pro které následně počítám fyzikální řešení této jízdní dynamiky.

V poslední, třetí části, která obsahuje kapitolu 7, s využitím programu MS Excel 2007 vypočítávám potřebné hodnoty výkonů a energie nutné k překonání jízdních odporů.

# 1 Kritéria pro dimenzování akumulátoru elektromobilu

Na elektromobil, stejně jako na motorové vozidlo působí během jeho pohybu až pět různých fyzikálních odporů, které jsou obecně označovány za vnější síly a jsou překonávány hnací silou vozidla. Jelikož samostatné elektromobily ještě nebývají do hloubky popsány a prozkoumány v literatuře, budu uvažovat vliv jízdních odporů jako by se jednalo o klasický automobil.

Jedná se o:

- odpor valení,
- odpor sklonu,
- odpor vzduchu,
- odpor zrychlení,
- odpor tahu přípojného vozidla.

Některé tyto odpory působí v každém okamžiku pohybu (odpor valení, odpor vzduchu), některé jen při specifických podmínkách (odpor sklonu, odpor zrychlení, odpor tahu přípojného vozidla).

## 1.1 Odpor valení

Odpor valení vzniká jako důsledek deformace pneumatik při styku kol s tuhou podložkou. Stykem kola s podložkou tvoří plocha nazvaná *stopa*. V přední části stopy dochází ke stlačování pláště, v zadní části pak k návratu pláště do kruhového tvaru.

Valivý odpor vozidla  $O_f$  je dán součtem valivých odporů jednotlivých kol. Předpokládáme-li, že tyto odpory mají stejnou hodnotu, můžeme říct, že  $f_{ki} = f$  a bude platit:

$$O_f = G \cdot \cos \alpha \cdot f \text{ [N]} \quad (1-1)$$

kde  $f$  je součinitel odporu valení. Jeho hodnota je dána mnoha faktory.

Mezi ty zásadní patří:

- kvalita povrchu vozovky

Povrch	$f_k$	Povrch	$f_k$
asfalt	0,01 - 0,02	travnatý terén	0,08 - 0,15
beton	0,015 - 0,025	hluboký písek	0,15 - 0,3
dlažba	0,02 - 0,03	čerstvý sníh	0,2 - 0,3
polní cesta - suchá	0,04 - 0,15	bahnitá půda	0,2 - 0,4
polní cesta - mokrá	0,08 - 0,2	náledí	0,01 - 0,025

Tab. 1 kvalita povrchu vozovky

- vliv huštění pneumatiky - nižší tlak vede k větší deformaci pláště, větší ploše stopy pláště a tím i ke zvýšení hodnoty součinitele,
- vliv rychlosti vozidla – součinitel mírně roste se zvyšující se rychlostí vlivem zhoršení podmínek pro regeneraci deformace pláště při dotyku s podložkou.

$G \cdot \cos \alpha$  pak znázorňuje součet radiálních reakcí na kole. Ten je roven složce tíhy vozidla  $G \cdot \cos \alpha$  kolmé k rovině vozovky. Pro jízdu na rovině platí:

$$O_f = G \cdot f \text{ [N]} \quad (1-2)$$

Vedle valivého odporu působí na vozidlo některé další odpory, které jsou podobné tomuto odporu. Je to jednak odpor, který vzniká vlivem sbíhavosti předních kol. Protože je velmi malý, obvykle ho v praktických výpočtech neuvažujeme. Další přídatný odpor vzniká při jízdě po nerovných vozovkách. Vlivem nerovností vznikají v pneumatikách přídatné deformace, které zvyšují jízdní odpor. Svislé kmitání vozidla je tlumeno tlumiči a mechanická energie se mění v teplo a motor musí tyto ztráty překonávat. [1]

## 1.2 Odpor sklonu

Stanovení odporu sklonu vychází z teorie silového působení na těleso na nakloněné rovině. V praxi se výškové uspořádání vozovky charakterizuje převýšením vozovky  $h$  vztaženým na délku  $l$  jejího průmětu do vodorovné roviny. Tato charakteristika se označuje jako sklon  $s$ , číselně udávající převýšení trati v cm na 1 m délky vozovky. Používá se označení rozměru % (procento, 1/100).

Síla  $F$  je rovnoběžná se směrem jízdy. Při jízdě do stoupání působí proti směru pohybu, při jízdě po spádu působí ve směru pohybu. Můžeme ji vyjádřit:

$$F = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \text{ [N]} \quad (1-3)$$

Pro malé úhly  $\alpha$  je možno považovat rozdíl mezi  $\sin \alpha$  a  $\tan \alpha$  za zanedbatelný a považujeme je za rovny. Pak je odpor sklonu možno stanovit podle vztahu:

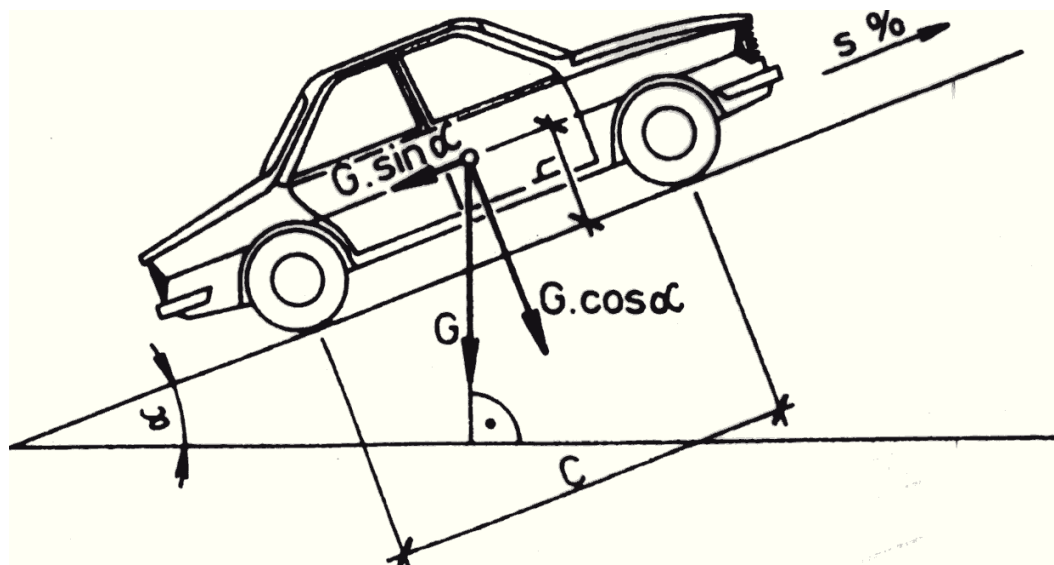
$$O_s = \pm G \cdot s \text{ [N]} \quad (1-4)$$

Pro vyšší hodnoty sklonu vozovky ( $\alpha \geq 17^\circ$ ) je však nutné hodnotu sklonu přepočítat na úhel sklonu vozovky:

$$\alpha = \arctg(s) \quad (1-5)$$

A pro tento úhel určíme úhel stoupání podle:

$$O_s = \pm G \cdot s \cdot \sin \alpha \text{ [N]} [2] \quad (1-6)$$



Obr. 1 rozklad sil při sklonu vozovky

## 1.3 Odpor vzduchu

Při jízdě vozidla proudí část vzduchu kolem horní části karosérie a část se musí protlačit prostorem mezi spodní částí vozidla a povrchem vozovky. Proudnice se za vozidlem neuzavírají, ale

nastává víření. Tím vzniká odpor, který označujeme jako vzdušný odpor  $O_v$ . Velikost této vzdušné síly je dána výslednicí normálových tlaků vzduchu na povrch karoserie a třecích sil, které působí v tečném směru proudění vzduchu kolem karoserie.

Nestejným tlakem nad a pod vozidlem (nad vozidlem velký podtlak, pod vozidlem mírný přetlak) dochází k víření vzduchu v příčné rovině vozidla (tzv. indukovaný vzdušný odpor), které je další složkou celkového vzdušného odporu. V celkovém vzdušném odporu vozidla jsou zahrnuty také odpory, které vznikají při průchodu vzduchu chladicím a větracím systémem a odpory vznikající vířeními a třením vzduchu u otáčejících se vozidlových kol.

Celkový vzdušný odpor vozidla se určuje z běžného aerodynamického vztahu:

$$O_v = c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 \quad (1-7)$$

Kde  $v_r$  je výsledná náporová rychlost proudění vzduchu kolem vozidla,  $S_x$  je čelní plocha vozidla,  $\rho$  je měrná hmotnost vzduchu a  $c_x$  je součinitel vzdušného odporu.

Náporová rychlost se skládá ze záporné rychlosti pohybu vozidla  $v$ , se kterou vozidlo projíždí klidný vzduch a z rychlosti větru  $v_v$ , kde platí:

$$v_r = v + v_v \quad (1-8)$$

Při praktických výpočtech vzdušného odporu se obvykle počítá s průměrnou rychlostí větru  $4,7 \text{ m.s}^{-1}$ . Měrná hmotnost vzduchu  $\rho$  závisí na teplotě a tlaku vzduchu. V praktických výpočtech uvažujeme  $\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Čelní plochu automobilu  $S_x$  a součinitel odporu vzduchu  $c_x$  si popíšeme poněkud konkrétněji. [3]

### 1.3.1 Čelní plocha $S_x$

Hodnotu čelní plochy pro výpočty je možno získat:

- z dokumentace výrobce,
- planimetrickým měřením obrazce obrysu vozidla,



Obr. 2 planimetrické měření obrysu vozidla

- přibližným výpočtem ( $S_x = 0,7 - 0,85 \cdot \check{s} \cdot v [\text{m}^2]$ ). [4]

### 1.3.2 Součinitel odporu vzduchu $c_x$

Charakterizuje úroveň obtékání vzduchu kolem povrchu vozidla v podélném směru. Jeho stanovení je možno experimentálně ve zkušebním aerodynamickém tunelu. Pro výpočet hodnoty odporu vzduchu je možno použít typické hodnoty součinitele odporu vzduchu a odhad čelní plochy podle tabulky. [5]

Typ vozidla	$C_x$ [-]	$S_x$ [m <sup>2</sup> ]
osobní automobily	0,3 - 0,4	1,6 - 2,0
sportovní vozy	0,3 - 0,35	1,3 - 1,6
závodní vozy - nekrytá kola	0,4 - 0,6	0,7 - 1,3
závodní vozy - krytá kola	0,25 - 0,35	0,8 - 1,5
nákladní vozy - valník	0,8 - 1,0	4,0 - 7,0
nákladní vozy - s plachtou	0,6 - 0,8	5,0 - 8,0
nákladní vozy - s přívěsem	1,0 - 1,2	5,0 - 8,0
nákladní vozy – s kontejnerovým návěsem	1,0 - 1,2	9
autobusy	0,5 - 0,7	5,0 - 7,0

Tab. 2 odhady součinitele vzduchu a čelní plochy vozidla

### 1.4 Odpor zrychlení

Při změně rychlosti vozidla na něj působí setrvačné síly, které představují odpor zrychlení. Obecně se dá odpor zrychlení vyjádřit jako odpor posuvného zrychlení a odpor rotujících částí vozidla.

Odpor daný posuvným zrychlením celého vozidla je dán vztahem:

$$O_{zp} = m \cdot a \text{ [N]} \quad (1-9)$$

Pro překonání odporu rotujících částí vozidla při změně jeho rychlosti je potřebné na kola přivést kroutící moment  $M_{zK}$ , který je dán součtem momentů pro zrychlování všech rotujících částí.

Odpor rotujících částí je možno vyjádřit jako:

$$O_{zr} = \frac{M_{zK}}{r_d} \text{ [N]} \quad (1-10)$$

Celkový odpor zrychlení pak je:

$$O_z = \delta \cdot m \cdot a \text{ [N]} \quad (1-11)$$

Kde  $\delta$  je součinitel vlivu rotujících částí. [6]

### 1.5 Odpor tahu přípojného vozidla

Odpor tahu je síla, kterou působí přípojně vozidlo na vozidla motorové. Samostatně vyjadřujeme odpor tahu většinou jen u jízdních souprav s výrazným vlivem přípojných vozidel (tahač přívěsů+ přívěs, traktor+přívěs). U těchto motorových vozidel se pak samostatně vyjadřuje síly tahu  $F_T$ , která představuje důležitou užitnou vlastnost těchto vozidel.

$$F_T = F_k - O_f - O_v \quad (1-12)$$

U ostatních jízdních souprav se souprava považuje za jediné vozidlo s patřičně definovanými odpory. [7]

## 2 Rovnice pohybu silničního vozidla

Definice základní rovnice pohybu silničního vozidla vychází z rovnováhy podélných sil působících na vozidlo (neuvažujeme přípojně vozidlo, pokud není připojeno):

$$F_K = O_f + O_v + O_s + O_z \text{ [N]} \quad (2-1)$$

Do této rovnice dosadíme výše vyjádřené odpory:

$$F_K = G \cdot f + c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \cdot s + \delta \cdot m \cdot a \text{ [N]} \quad (2-2)$$

Z rovnice pohybu silničního vozidla je možno vyjádřit výkon potřebný pro pokrytí ztrát jízdních odporů:

$$P_K = O_f + O_v + O_s + O_z \cdot v \text{ [W]} \quad (2-3)$$

Po dosazení při jízdě konstantní rychlostí po rovině pak dostaneme vztah:

$$P_K = G \cdot f + c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \cdot s \cdot v \text{ [W]} \quad (2-4)$$

Při jízdě konstantní rychlostí ve svahu:

$$P_K = G \cdot f \cdot \cos \alpha + c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \cdot s \cdot v \text{ [W]} \quad (2-5)$$

Celkový výkon potřebný pro překonání jízdních odporů při zrychlování vozidla pak je:

$$P_K = G \cdot f + c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \cdot s + \delta \cdot m \cdot a \cdot v \text{ [W]} \quad (2-6)$$

Celkový výkon pro zrychlování ve svahu:

$$P_K = G \cdot f \cdot \cos \alpha + c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \cdot s + \delta \cdot m \cdot a \cdot v \text{ [W]} \quad (2-7) \quad [8]$$



### 3 Koncepce elektromobilu

V dnešní době, kdy se stále navyšuje počet obyvatel Země, a lidé se stahují do velkých aglomerací, vzrůstá společenský tlak po ekologických způsobech dopravy. Ovzduší velkých měst se s narůstajícím počtem obyvatel a tím i automobilů rok od roku zhoršuje. Zásoby fosilních paliv se snižují a velké množství automobilových společností již má nějaký elektromobil minimálně jako testovací návrh ve svých laboratořích, dnes již ale není výjimečné potkat elektromobil i v provozu v městských ulicích.

Od prvních návrhů elektromobilu už uběhla dlouhá doba. Dnes již není problém tento vůz vymyslet či sestavit. Velká část vývoje se obrací směrem k nejdůležitější části – akumulátorům, sloužícím k uskladnění energie po dobu dojezdu. Stále ožehavějším problémem je také systém nabíjecích stanic, případně jiného způsobu každodenního nabíjení akumulátorů, který je prozatím v počátcích své cesty.

#### 3.1 Obecný popis elektromobilu

Elektromobil je automobil na elektrický pohon. Jako zdroj energie využívá obvykle akumulátor, který musí být před jízdou nabit a na jehož kapacitě závisí dojezdová vzdálenost elektromobilu. Jedna z velkých výhod proti klasickým automobilům je vysoká účinnost elektrických motorů. Ty dosahují až 90%, oproti spalovacím, kde se pohybujeme na 30-40%. [9]

Jistě zajímavá je také možnost rekuperace elektrické energie. Jedná se o proces přeměny kinetické energie zpět na využitelnou elektrickou energii, která se ukládá do akumulátoru, nebo se vrací zpět do napájecí soustavy. Rekuperace také slouží k dobřzdování motoru. [10]

Elektromobil svým provozem neprodukuje výfukové plyny, a proto nezatěžuje prostředí škodlivými látkami. Je ovšem třeba podotknout, že k nabíjení se používá elektrická energie produkovaná stále i ze spalovacích elektráren. Proto, kdyby došlo k masivnímu rozmachu elektromobility, je třeba počítat se zvýšenou zátěží na životní prostředí výstavbou dalších elektráren. Elektromobil se tedy stává opravdu ekologický ve chvíli, kdy je i jeho akumulátor nabíjen energií získanou z ekologicky šetrného zdroje (např. solární, větrné či vodní elektrárny).

Jako velká výhoda se elektromobil ukázal například při odstraňování následků škod při nedávném zemětřesení v Japonsku. Tam byl využíván v místech, kde nebyla možnost dopravy fosilních paliv, pro přepravu lékařů, doplňování potravin v evakuačních centrech a převážení záchranářů a dobrovolníků.

#### 3.2 Návrh první koncepce

Jedná se o městský elektromobil s dojezdem do 100 km a maximální rychlostí do 80 km/h. Tento elektromobil má sloužit pro pojezdy z domova do práce a zpět, na nákupy a kratší cesty do okolí bydliště. Není zde potřeba dlouhého dojezdu, protože se počítá s denním nabíjením akumulátoru. Ten bude dimenzován na 100 km na jedno nabití. Maximální rychlost také počítá pouze s městským a příměstským provozem, dle regulí českých předpisů. Předpokládá se pohyb převážně rychlostí okolo 50 km/h. Elektromobil musí ovšem být schopen provozu i na rychlostních komunikacích, proto je jeho maximální rychlost 80 km/h. Předpokládá se časté parkování, brzdění a rozjezdy na křižovatkách a také časté změny rychlosti kvůli hustotě dopravy. Vozidlo bude menších rozměrů, jelikož bude sloužit k pohodlnému převozu jedné až dvou osob. Tedy i nároky na výkon motoru a kapacitu akumulátoru nebudou příliš velké.

### 3.2.1 Mitsubitshi i-Miev

Dle všech dostupných informací o současných elektromobilech jsem jako první koncepci zvolil vůz, který bude mít parametry malého městského vozidla typu Mitsubitshi i-MiEV.



*Obr. 3 Mitsubitchi i-Miev*

Tento automobil je osazen synchroním motorem s pernametnými magnety o výkonu 49 kW a maximálním kroutícím momentem 180 Nm. Akumulátor má udávanou hodnotu odebírané energie na 16 kWh. Motor pracuje v rozmezí 0 – 2000 ot/min. Mezi další hodnoty, potřebné k výpočtu jízdních odporů, tažné síly a výkonu patří váha, která je 1450 kg, hodnoty  $c_X$  a  $S_X$ , které výrobce neudává a odečtu je z Tab. 2. Hodnotu  $c_X$  zvolím 0,3 z hodnot určených pro osobní automobily. Hodnotu  $S_X$  pak 1,6 m<sup>2</sup>. Je to spodní hranice v tabulce a volím ji kvůli malým rozměrům celého vozidla. Budu také počítat s hodnotou  $f_K=0,02$  pro suchou asfaltovou silnici. Z testů provedených na tomto autě vyplývá, že hodnota zrychlení z 0 na 50 km/h je 2,98 m.s<sup>-2</sup>, což je maximální hodnota a s ohledem na komfort jízdy zvolím pro svou dimenzaci hodnotu 2,5 m.s<sup>-2</sup>. Hodnotu zpomalení zvolím opět s ohledem na komfort a také na českou legislativu, kdy je vyhláškou č.102/1995 Sb. určeno, že přípustná brzdná dráha automobilu musí být při provozním brzdění:

$$s = 0,1v_0 + \frac{v_0^2}{150} \quad (3-1)$$

Jelikož elektromobil bude na konci trasy brzdít z rychlosti 50 km/h vychází brzdná dráha na:

$$s = 0,1v_0 + \frac{v_0^2}{150} = 0,1 \cdot 50 + \frac{50^2}{150} = 21,66 \text{ m} \quad (3-2)$$

Z toho vyplývá provozní hodnota zpomalení:

$$\frac{v_0^2}{2a \cdot 3,6^2} = \frac{v_0^2}{150}; \quad (3-3)$$

$$a = \frac{v_0^2}{150} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot 3,6^2} = 5,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}; \quad (3-4)$$

$$t_{brzd} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{13,88 - 0}{5,78} = \frac{13,88}{5,78} = 2,4 \text{ s} [11, 12] \quad (3-5)$$

### 3.3 Návrh druhé koncepce

Jedná se o elektromobil pro dálkové trasy s dojezdem nad 300 km a maximální rychlostí nad 140 km/h. U tohoto elektromobilu již není předpokládáno prostředí pro pohyb pouze město. Má se jednat o vozidlo, které je určeno i na delší trasy. Proto je jistě důležité, aby akumulátor umožňoval dojezd na jedno nabití alespoň 150 kilometrů. Mezi jízdní požadavky bude patřit i dynamická jízda a pohyb i po dálnicích, proto je hodnota maximální rychlosti na hodnotě alespoň 140 km/h. Vůz by měl být velikostně přizpůsoben pro rodinné použití. Předpokládá se, že se vozidlo bude pohybovat například i hornatým terénem, což je důležité zahrnout do dimenzace akumulátoru.

Jelikož se počítá s větší hmotností vozu, vyplývají z toho větší hodnoty jízdních odporů. Zároveň jsou kladny vyšší požadavky na dojezd a náročnost terénu. Na druhou stranu se předpokládá plynulejší ekonomická jízda, oproti městskému automobilu.

#### 3.3.1 Tesla model S

Pro druhou koncepci jsem zvolil sedan americké automobilky Tesla motors. Ten se sice má ve finální verzi objevit na trhu až v roce 2012, ale jsou již známy hodnoty některých jeho parametrů, díky testovacím modelům.



*Obr. 4 Tesla model S*

Výrobce udává tomuto elektromobilu v základní verzi dojezd 260 km, ale má k dispozici další dvě rozšíření. A to na 370 nebo dokonce 480 km. Hodnoty energie v akumulátorech pak jsou pro

nejnižší verzi 42 kWh, pro střední 65 kWh a pro nejvyšší 85 kWh. Na první pohled u vozu zaujme čas zrychlení z 0 na 97 km/h, která je 5,6 s. To nám dává hodnotu zrychlení  $4,8 \text{ m.s}^{-2}$ . Toto je ovšem maximální hodnota a nemyslím si, že v běžném provozu ji bude mnoho řidičů využívat, proto jsem volil velikosti zrychlení s ohledem na komfort a bezpečnost nižší. I když zatím výrobce neposkytl údaj o výkonu motoru, nejvyšší rychlost se zastaví na hodnotě 193 km/h.

Firma Tesla motors se u tohoto vozu zaměřila hlavně na co nejvyšší efektivitu všech částí. Na stránkách výrobce se dočteme, že důraz je kladen jak na výkon, tak na bezpečnost a deformační zóny vozu. Z fotky je také patrná výborná aerodynamika. Hodnota  $c_x$  je 0,28, hodnotu  $S_x$  poté volím s ohledem na velikost vozu  $1,8 \text{ m}^2$ . Automobil slouží jako alternativa například k vozům Audi A6 nebo BMW řady 5. Jeho váha je 1750 kg. Hodnotu  $f_k$  nechám na hodnotě 0,02, protože trasa pro tuto koncepci vede po suchém asfaltu. Velikost brzdného zpomalení zůstane s ohledem na vztah (3-4) stejná jako u první koncepce, tedy  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$ . [13,14]

## 4 Jízdní dynamika

Před tím, než si určím samotné trasy, na kterých provedu konkrétní výpočet a dimenzaci akumulátoru pro jednotlivé koncepce elektromobilu, je třeba rozhodnout, jaké jízdní manévry budu uvažovat a jak popíšu jejich dynamiku. Simulace dvoustopého vozidla je velmi složitá a náročná a ovlivňována mnoha proměnnými. Budu proto uvažovat jistá zjednodušení.

Níže jsou konkrétně popsány dvě trasy, které budou použity pro výpočet na dvě koncepce elektromobilu popsané výše. Obě tyto trasy jsem projel jako spolujezdec v osobním automobilu škoda Fabia, protože elektromobil k dispozici nemám a prováděl za pomoci mapy a digitálního zaznamenávání ujeté vzdálenosti v automobilu (součást tachometru) měření, které jsem následně zaznamenal do tabulky.

Postup byl následující. Předem naplánovanou trasu jsem uvažoval za tzv. ideálních podmínek. Vypustil jsem tedy reálný vliv provozu a soustředil se pouze na ideální jízdu automobilu. Trasa se takto dá rozdělit na přesně stanovený počet úseků, kde je vždy určena maximální rychlost vozidla dle platných předpisů. Uvažoval jsem proto, že automobil se na tomto úseku pohybuje vždy konstantní rychlostí. Probíhá pouze rozjezd a brzdění na danou rychlost v jednotlivých úsecích. Na automobil během této jízdy působí jednotlivé odpory popsané v kapitole 1.

Odečtem z tachometru automobilu, jsem vždy zjistil délku daného úseku. Ta se v tomto typu vozidla zobrazuje v řádech stovek metrů. Jelikož uvažuji, že automobil se po něm pohybuje vždy konstantní rychlostí tak mohu podle zákonů kinematiky spočítat čas, za který daný úsek automobil urazí. Mezi jednotlivými úseky pak dochází ke zrychlení nebo zpomalení a to jde také fyzikálně a matematicky vyjádřit. Také jsem spočítal všechny křižovatky a řízené přechody pro chodce, na kterých by automobil při určitých podmínkách provozu musel zastavit. I tento vliv bude započítán.

Z internetových aplikací <http://www.mapy.cz> a <http://maps.google.cz> jsem získal jízdní profil každé trasy, kde na ose x je značena délka trasy a na ose y je nadmořská výška. Když tedy znám celkovou délku trasy a velikosti jednotlivých úseků, mohu z Obr.6 a Obr.8 odečíst nadmořské výšky a podle toho vypočítat velikost sklonu svahu.

Nakonec pro své výpočty nahradím automobil, kterým jsem dané úseky projel, elektromobilem a vypočítám dle dostupných údajů jednotlivé výkony pro každý úsek. Z těch poté zjistím, jakou energii by bylo třeba na každý úsek a jízdní úkon vyčerpat z akumulátoru a podle toho jej nadimenzuji.

Pro několik údajů je velmi obtížné získat přesné hodnoty a proto jsem je určil a použil ve výpočtech jejich konstantní hodnoty. Při získání přesných hodnot, případně reálných hodnot z měření se dají tyto snadno nahradit za hodnoty mnou určené. Jedná se o zrychlení automobilu (hlavně při zrychlování z různých počátečních rychlostí při změně úseku). Dále se jedná o účinnost. Je to hodnota, o kterou musí být navýšen výkon na každém úseku a zohledňuje mnoho faktorů. Například účinnost samotné pohonné jednotky, účinnost zdroje apod. Neuvažuji také rekuperaci, protože za daných podmínek nebylo možné získat jakékoli údaje vedoucí k určení hodnoty dodávané energie zpět do akumulátoru. Uvažuji tedy při jízdě z kopce a brzdění pouze se setrvačnými silami, které překonávají na daných úsecích jízdní odpory elektromobilu a elektromobil při jízdě na těchto úsecích nespotřebovává žádnou energii ze zdroje.

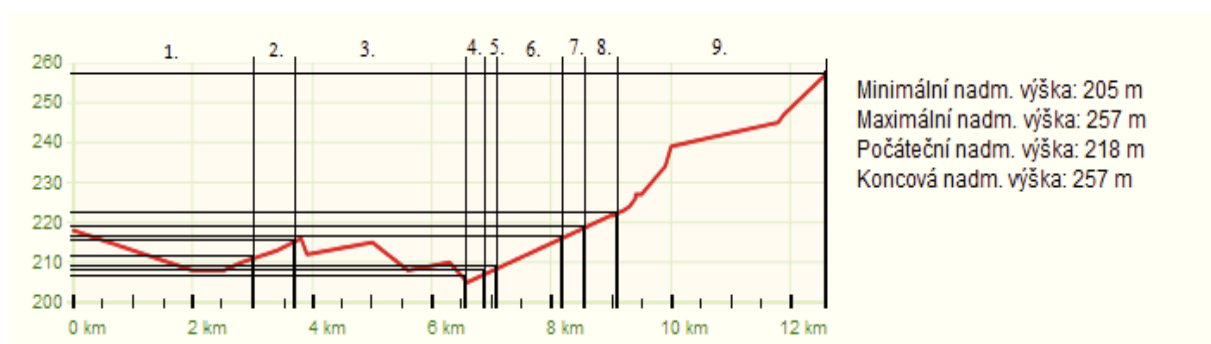


## 5 Výběr trasy pro první koncepci

S využitím online služby <http://maps.google.cz> jsem naplánoval první trasu z centra Ostravy (zastávka Elektra), do areálu VŠB. Trasa simuluje pojezd automobilu po městě, v městském provozu. Je však kratší a v rovinatém terénu. Trasa měří 12,1 km a je primárně určena pro první koncepci elektromobilu.



Obr. 5 trasa pro první koncepci



Obr. 6 výškový profil trasy pro první koncepci s naznačením jednotlivých úseků a odečtem nadmořských výšek

1. úsek – elektromobil se rozjíždí na začátku trasy z 0 km/h na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje touto rychlostí do vzdálenosti 3000 m
2. úsek – elektromobil z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 700 m
3. úsek – elektromobil ze 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 80 km/h ( $22,22 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $1,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 2900 m
4. úsek – elektromobil brzdí z 80 km/h ( $22,22 \text{ m.s}^{-1}$ ) na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 200 m
5. úsek – elektromobil z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 300 m
6. úsek – elektromobil ze 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 80 km/h ( $22,22 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $1,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 1100 m

7. úsek – elektromobil brzdí z 80 km/h (22,22 m.s<sup>-1</sup>) na 60 km/h (16,66 m.s<sup>-1</sup>) s brzděným zpomalením 5,78 m.s<sup>-2</sup> a pokračuje 300 m
8. úsek – elektromobil z 60 km/h (16,66 m.s<sup>-1</sup>) zrychlí na 80 km/h (22,22 m.s<sup>-1</sup>) se zrychlením 2 m.s<sup>-2</sup> a pokračuje 600 m
9. úsek – elektromobil brzdí z 80 km/h (22,22 m.s<sup>-1</sup>) na 50 km/h (13,88 m.s<sup>-1</sup>) s brzděným zpomalením 5,78 m.s<sup>-2</sup> a pokračuje 3000 m. Na konci brzdí z 50 km/h (13,88 m.s<sup>-1</sup>) na 0 km/h na dráze 21,66 m dle vyhlášky

Na trase se nachází celkem 14 křižovatek nebo řízených přechodů pro chodce. Budu uvažovat, že se zastaví a rozjede na všech 14. Při zastavení bude vypnut v rámci šetření energie motor. Určím na všech z nich dráhu rozjezdu s ohledem na předchozí hodnoty 38,5 m (rozjezd z 0 na 50 km/h). Tyto hodnoty budou zohledněny v konečném řešení návrhu a dimenzace kapacity.

## 5.1.1 Fyzikální řešení trasy pro první koncepci

### 5.1.1.1 Úsek 1:

Okamžitá rychlost hmotného bodu je při nulové počáteční rychlosti přímo úměrná času. Platí tedy vztah:

$$v_a = a \cdot t_{1a}; \quad (5-1)$$

$$t_{1a} = \frac{v_a}{a} = \frac{13,88}{2,5} = 5,55 \text{ s} \quad (5-2)$$

Dráha rovnoměrně zrychleného pohybu se zrychlením o velikosti  $a=2,5 \text{ m.s}^{-2}$  závisí na čase vztahem:

$$s_{1a} = \frac{1}{2} a t_{1a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 5,55^2 = 38,5 \text{ m} \quad (5-3)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 3000 m. Po odečtení dráhy rozjezdu  $s_{1a}$  vyjde dráha  $s_{1b}$ , ze které určím, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_{1b} = s_a - s_{1a} = 3000 - 38,5 = 2961,5 \text{ m} \quad (5-4)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{1b}}{t_{1b}}; \quad (5-6)$$

$$t_{1b} = \frac{s_{1b}}{v_b} = \frac{2961,5}{13,88} = 213,36 \text{ s} \quad (5-7)$$

### 5.1.1.2 Úsek 2:

Elektromobil zrychlí z 50 km/h na 70 km/h se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{2a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{19,44 - 13,88}{2} = \frac{5,56}{2} = 2,78 \text{ s} \quad (5-8)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{2a} = \frac{1}{2} a t_{2a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2,78^2 = 7,73 \text{ m} \quad (5-9)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 700 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{2a}$  vyjde dráha  $s_{2b}$ , ze které určím, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 70 km/h:

$$s_{2b} = s_a - s_{2a} = 700 - 7,73 = 692,27 \text{ m} \quad (5-10)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{2b}}{t_{2b}}; \quad (5-11)$$

$$t_{2b} = \frac{s_{2b}}{v_b} = \frac{692,27}{19,44} = 35,6 \text{ s} \quad (5-12)$$

### 5.1.1.3 Úsek 3:

Elektromobil zrychlí ze 70 km/h na 80 km/h se zrychlením  $1,5 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{3a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{22,22 - 19,44}{1,5} = \frac{2,78}{1,5} = 1,85 \text{ s} \quad (5-13)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{3a} = \frac{1}{2} a t_{3a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 1,85^2 = 2,56 \text{ m} \quad (5-14)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 2900 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{3a}$  vyjde dráha  $s_{3b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 80 km/h:

$$s_{3b} = s_a - s_{3a} = 2900 - 2,56 = 2897,44 \text{ m} \quad (5-15)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{3b}}{t_{3b}}; \quad (5-16)$$

$$t_{3b} = \frac{s_{3b}}{v_b} = \frac{2897,44}{22,22} = 130,4 \text{ s} \quad (5-17)$$

### 5.1.1.4 Úsek 4:

Elektromobil brzdí z 80 km/h na 50 km/h s brzdícím zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{4a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{22,22 - 13,88}{5,78} = \frac{8,33}{5,78} = 1,44 \text{ s} \quad (5-18)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{4a} - \frac{1}{2} a t_{4a}^2 = 22,22 \cdot 1,44 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 1,44^2 = 26 \text{ m} \quad (5-19)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 200 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_4$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_4 = s_a - s_{brzd} = 200 - 26 = 174 \text{ m} \quad (5-20)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_4}{t_{4b}}; \quad (5-21)$$

$$t_{4b} = \frac{s_4}{v_b} = \frac{174}{13,88} = 12,53 \text{ s} \quad (5-22)$$

### 5.1.1.5 Úsek 5:

Elektromobil zrychlí z 50 km/h na 70 km/h se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{5a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{19,44 - 13,88}{2} = \frac{5,56}{2} = 2,78 \text{ s} \quad (5-23)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{5a} = \frac{1}{2} a t_{5a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2,78^2 = 7,73 \text{ m} \quad (5-24)$$



Celková dráha úseku  $s_a$  je 300 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{5a}$  vyjde dráha  $s_{5b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 70 km/h:

$$s_{5b} = s_a - s_{5a} = 300 - 7,73 = 292,27 \text{ m} \quad (5-25)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{5b}}{t_{5b}}; \quad (5-26)$$

$$t_{5b} = \frac{s_{5b}}{v_b} = \frac{292,27}{19,44} = 15,03 \text{ s} \quad (5-27)$$

#### 5.1.1.6 Úsek 6:

Elektromobil zrychlí ze 70 km/h na 80 km/h se zrychlením  $1,5 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{6a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{22,22 - 19,44}{1,5} = \frac{2,78}{1,5} = 1,85 \text{ s} \quad (5-28)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{6a} = \frac{1}{2} a t_{6a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 1,85^2 = 2,56 \text{ m} \quad (5-29)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 1100 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{6a}$  vyjde dráha  $s_{6b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 80 km/h:

$$s_{6b} = s_a - s_{6a} = 1100 - 2,56 = 1097,44 \text{ m} \quad (5-30)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{6b}}{t_{6b}}; \quad (5-31)$$

$$t_{6b} = \frac{s_{6b}}{v_b} = \frac{1097,44}{22,22} = 49,39 \text{ s} \quad (5-32)$$

#### 5.1.1.7 Úsek 7:

Elektromobil brzdí z 80 km/h na 60 km/h s brzdícím zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{7a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{22,22 - 16,66}{5,78} = \frac{5,56}{5,78} = 0,96 \text{ s} \quad (5-33)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{7a} - \frac{1}{2} a t_{7a}^2 = 22,22 \cdot 0,96 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 0,96^2 = 18,67 \text{ m} \quad (5-34)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 300 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_7$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 60 km/h:

$$s_7 = s_a - s_{brzd} = 300 - 18,67 = 281,3 \text{ m} \quad (5-35)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_7}{t_{7b}}; \quad (5-36)$$

$$t_{7b} = \frac{s_7}{v_b} = \frac{281,3}{16,66} = 16,89 \text{ s} \quad (5-37)$$

#### 5.1.1.8 Úsek 8:

Elektromobil zrychlí z 60 km/h na 80 km/h se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{8a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{22,22 - 16,66}{2} = \frac{5,56}{2} = 2,78 \text{ s} \quad (5-38)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{8a} = \frac{1}{2} a t_{8a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2,78^2 = 7,73 \text{ m} \quad (5-39)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 600 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{8a}$  vyjde dráha  $s_{8b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 80 km/h:

$$s_{5b} = s_a - s_{8a} = 600 - 7,73 = 592,27 \text{ m} \quad (5-40)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{8b}}{t_{8b}}; \quad (5-41)$$

$$t_{8b} = \frac{s_{8b}}{v_b} = \frac{592,27}{22,22} = 26,65 \text{ s} \quad (5-42)$$

#### 5.1.1.9 Úsek 9:

Elektromobil brzdí z 80 km/h na 50 km/h s brzdným zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{9a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{22,22 - 13,88}{5,78} = \frac{8,33}{5,78} = 1,44 \text{ s} \quad (5-43)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{9a} - \frac{1}{2} a t_{9a}^2 = 22,22 \cdot 1,44 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 1,44^2 = 26 \text{ m} \quad (5-44)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 3000 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  a  $s_{brzd2}$  vyjde dráha  $s_9$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_9 = s_a - s_{brzd} - s_{brzd2} = 3000 - 26 - 21,66 = 2952,34 \text{ m} \quad (5-45)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_9}{t_{9b}}; \quad (5-46)$$

$$t_{9b} = \frac{s_9}{v_b} = \frac{2952,34}{13,88} = 212,7 \text{ s} \quad (5-47)$$

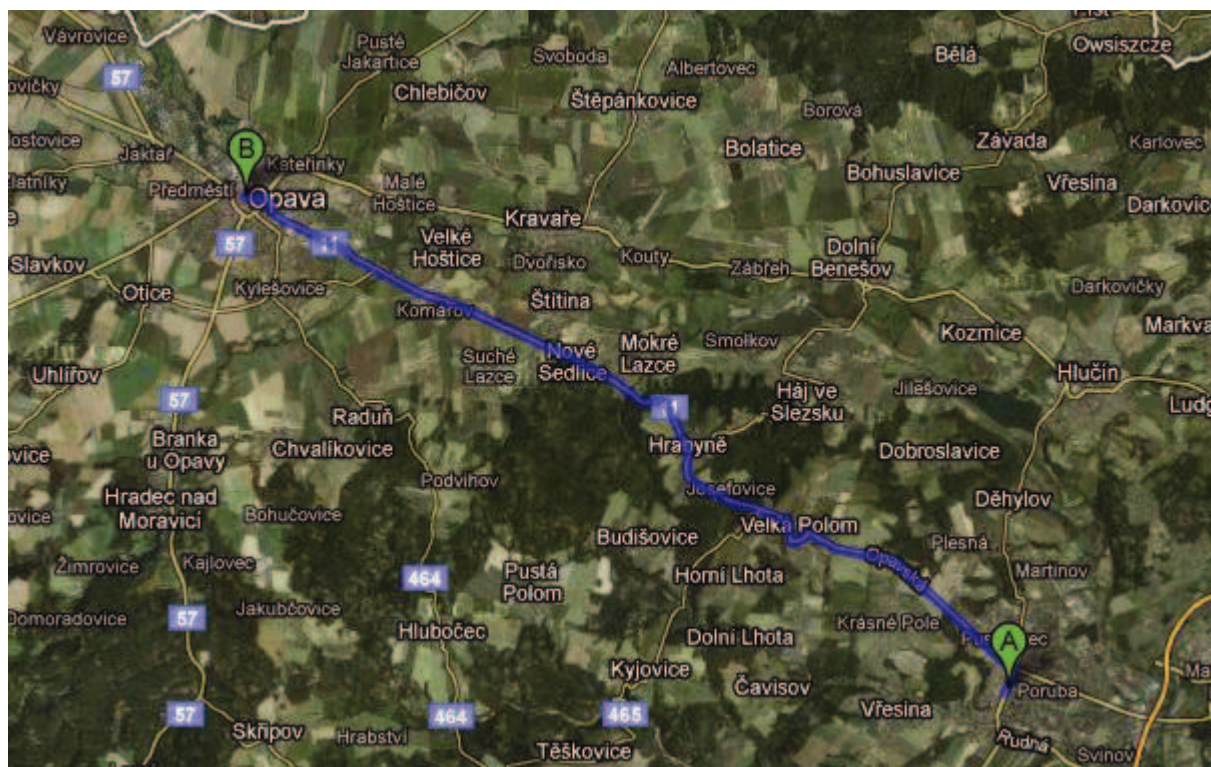
### 5.1.2 Tabulka vypočtených a naměřených hodnot – trasa pro první koncepci

úsek číslo	dráha [m]	zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}$ ]	rychlost [km/h]	čas [s]
1 - rozjezd	38,5	2,5	0	5,55
1 - rovnoměrný pohyb	2961,5		50	213,36
2 - zrychlení	7,73	2		2,78
2 - rovnoměrný pohyb	692,27		70	35,6
3 - zrychlení	2,56	1,5		1,85
3 - rovnoměrný pohyb	2897,44		80	130,4
4 - zpomalení	26	-5,78		1,44
4 - rovnoměrný pohyb	174		50	12,53
5 - zrychlení	7,73	2		2,78
5 - rovnoměrný pohyb	292,27		70	15,03
6 - zrychlení	2,56	1,5		1,85
6 - rovnoměrný pohyb	1097,44		80	49,39
7 - zpomalení	18,67	-5,78		0,96
7 - rovnoměrný pohyb	281,3		60	16,89
8 - zrychlení	7,73	2		2,78
8 - rovnoměrný pohyb	592,27		80	26,65
9 - zpomalení	26	-5,75		1,44
9 - rovnoměrný pohyb	2952,44		50	212,7
9 - zastavení	21,66	-5,75	0	2,4

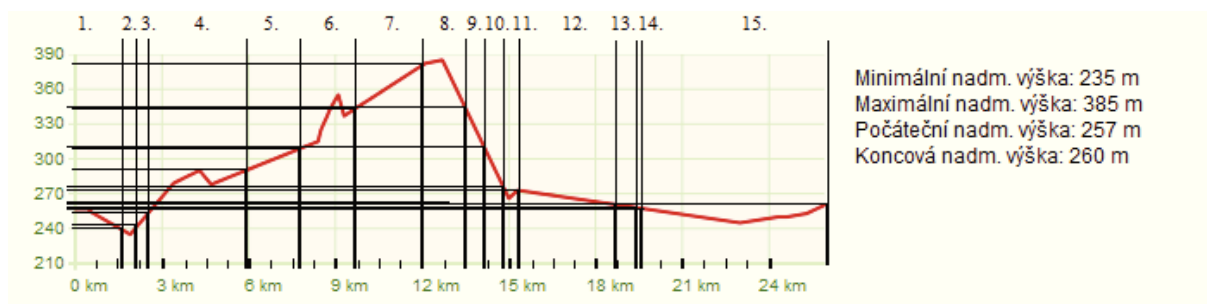
*Tab. 3 naměřené a vypočtené hodnoty na trase pro první koncepci*

## 6 Výběr trasy pro druhou koncepci

Pro plánování druhé trasy jsem opět využil aplikace <http://maps.google.cz>. Tentokrát z areálu VŠB do města Opavy. Trasa má simulovat dojezd automobilu mimo město. Jedná se o delší trasu, náročnějším, kopcovitým terénem. Měří 24,8 km. Střídají se úseky ve vesnicích, kde je třeba dodržovat maximální povolenou rychlost 50 km/h s úseky mimo obec, kde je rychlost dle značení až 90 km/h.



Obr. 7 trasa pro druhou koncepci



Obr. 8 výškový profil trasy pro druhou koncepci s označením jednotlivých úseků a odečtem nadmořských výšek

1. úsek – elektromobil se rozjíždí na začátku trasy z 0 km/h na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $3 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje touto rychlostí do vzdálenosti 1600 m
2. úsek – elektromobil z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 400 m
3. úsek – elektromobil ze 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) brzdí na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 500 m
4. úsek – elektromobil z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 80 km/h ( $22,22 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 3400 m

5. úsek – elektromobil z 80 km/h ( $22,22 \text{ m.s}^{-1}$ ) brzdí na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 1900 m
6. úsek – elektromobil z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 1800 m
7. úsek – elektromobil brzdí z 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 2400 m
8. úsek – úsek – elektromobil z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 80 km/h ( $22,22 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 1500 m
9. úsek – elektromobil z 80 km/h ( $22,22 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 500 m
10. úsek – elektromobil brzdí z 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) na 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 700 m
11. úsek – elektromobil ze 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 600 m
12. úsek – elektromobil brzdí z 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 3400 m
13. úsek – elektromobil z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) zrychlí na 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 600 m
14. úsek – elektromobil brzdí z 90 km/h ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ) na 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 200 m
15. úsek – elektromobil brzdí ze 70 km/h ( $19,44 \text{ m.s}^{-1}$ ) na 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) s brzdným zpomalením  $5,78 \text{ m.s}^{-2}$  a pokračuje 3300 m. Na konci brzdí z 50 km/h ( $13,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) na 0 km/h na dráze 21,66 m dle vyhlášky

## 6.1.1 Fyzikální řešení trasy pro druhou koncepci

### 6.1.1.1 Úsek 1:

Okamžitá rychlost hmotného bodu je při nulové počáteční rychlosti přímo úměrná času. Platí tehdy vztah:

$$v_a = a \cdot t_{1a}; \quad (6-1)$$

$$t_{1a} = \frac{v_a}{a} = \frac{13,88}{3} = 4,63 \text{ s} \quad (6-2)$$

Dráha rovnoměrně zrychleného pohybu se zrychlením o velikosti  $a=2,5 \text{ m.s}^{-2}$  závisí na čase vztahem:

$$s_{1a} = \frac{1}{2} a t_{1a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 4,63^2 = 32,15 \text{ m} \quad (6-3)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 1600 m. Po odečtení dráhy rozjezdu  $s_{1a}$  vyjde dráha  $s_{1b}$ , ze které určí, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_{1b} = s_a - s_{1a} = 1600 - 32,15 = 1567,85 \text{ m} \quad (6-4)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{1b}}{t_{1b}}; \quad (6-5)$$

$$t_{1b} = \frac{s_{1b}}{v_b} = \frac{1567,85}{13,88} = 112,96 \text{ s} \quad (6-6)$$

### 6.1.1.2 Úsek 2:

Elektromobil zrychlí z 50 km/h na 70 km/h se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{2a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{19,44 - 13,88}{2,5} = \frac{5,56}{2,5} = 2,22 \text{ s} \quad (6-7)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{2a} = \frac{1}{2} a t_{2a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 2,22^2 = 6,16 \text{ m} \quad (6-8)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 400 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{2a}$  vyjde dráha  $s_{2b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 70 km/h:

$$s_{2b} = s_a - s_{2a} = 400 - 6,16 = 393,84 \text{ m} \quad (6-9)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{2b}}{t_{2b}}; \quad (6-10)$$

$$t_{2b} = \frac{s_{2b}}{v_b} = \frac{393,84}{19,44} = 20,26 \text{ s} \quad (6-11)$$

### 6.1.1.3 Úsek 3:

Elektromobil brzdí ze 70 km/h na 50 km/h s brzdným zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{3a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{19,44 - 13,88}{5,78} = \frac{5,56}{5,78} = 0,96 \text{ s} \quad (6-12)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{3a} - \frac{1}{2} a t_{3a}^2 = 19,44 \cdot 0,96 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 0,96^2 = 21,32 \text{ m} \quad (6-13)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 500 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_3$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_3 = s_a - s_{brzd} = 500 - 21,32 = 478,68 \text{ m} \quad (6-14)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_3}{t_{3b}}; \quad (6-15)$$

$$t_{3b} = \frac{s_3}{v_b} = \frac{478,68}{13,88} = 34,48 \text{ s} \quad (6-16)$$

### 6.1.1.4 Úsek 4:

Elektromobil zrychlí z 50 km/h na 80 km/h se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{4a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{22,22 - 13,88}{2,5} = \frac{8,34}{2,5} = 3,336 \text{ s} \quad (6-17)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{4a} = \frac{1}{2} a t_{4a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 3,336^2 = 13,9 \text{ m} \quad (6-18)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 3400 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{4a}$  vyjde dráha  $s_{4b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 80 km/h:

$$s_{4b} = s_a - s_{4a} = 3400 - 13,9 = 3386,1 \text{ m} \quad (6-19)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{4b}}{t_{4b}}; \quad (6-20)$$

$$t_{4b} = \frac{s_{4b}}{v_b} = \frac{3386,1}{22,22} = 152,4 \text{ s} \quad (6-21)$$

#### 6.1.1.5 Úsek 5:

Elektromobil brzdí z 80 km/h na 50 km/h s brzdňým zpomalením  $a_{brzd}=5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{5a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{22,22 - 13,88}{5,78} = \frac{8,34}{5,78} = 1,44 \text{ s} \quad (6-22)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{5a} - \frac{1}{2} a t_{5a}^2 = 22,22 \cdot 1,44 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 1,44^2 = 26 \text{ m} \quad (6-23)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 1900 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_5$ , ze které určí, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_5 = s_a - s_{brzd} = 1900 - 26 = 1874 \text{ m} \quad (6-24)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_5}{t_{5b}}; \quad (6-25)$$

$$t_{5b} = \frac{s_5}{v_b} = \frac{1874}{13,88} = 135 \text{ s} \quad (6-26)$$

#### 6.1.1.6 Úsek 6:

Elektromobil zrychlí z 50 km/h na 90 km/h se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{6a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{25 - 13,88}{2,5} = \frac{11,12}{2,5} = 4,45 \text{ s} \quad (6-27)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{6a} = \frac{1}{2} a t_{6a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 4,45^2 = 24,75 \text{ m} \quad (6-28)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 1800 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{6a}$  vyjde dráha  $s_{6b}$ , ze které určí, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 80 km/h:

$$s_{6b} = s_a - s_{6a} = 1800 - 24,75 = 1775,25 \text{ m} \quad (6-29)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{6b}}{t_{6b}}; \quad (6-30)$$

$$t_{6b} = \frac{s_{6b}}{v_b} = \frac{1775,25}{25} = 71,01 \text{ s} \quad (6-31)$$

#### 6.1.1.7 Úsek 7:

Elektromobil brzdí z 90 km/h na 50 km/h s brzdňým zpomalením  $a_{brzd}=5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{7a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{25 - 13,88}{5,78} = \frac{11,12}{5,78} = 1,92 \text{ s} \quad (6-32)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{7a} - \frac{1}{2} a t_{7a}^2 = 25 \cdot 1,92 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 1,92^2 = 37,34 \text{ m} \quad (6-33)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 2400 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_7$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_7 = s_a - s_{brzd} = 2400 - 37,34 = 2362,66 \text{ m} \quad (6-34)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_7}{t_{7b}}; \quad (6-35)$$

$$t_{7b} = \frac{s_7}{v_b} = \frac{2362,66}{13,88} = 170,22 \text{ s} \quad (6-36)$$

#### 6.1.1.8 Úsek 8:

Elektromobil zrychlí z 50 km/h na 80 km/h se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{8a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{22,22 - 13,88}{2,5} = \frac{8,34}{2,5} = 3,336 \text{ s} \quad (6-37)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{8a} = \frac{1}{2} a t_{8a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 3,336^2 = 11,13 \text{ m} \quad (6-38)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 1500 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{8a}$  vyjde dráha  $s_{8b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 80 km/h:

$$s_{8b} = s_a - s_{8a} = 1500 - 11,13 = 1488,87 \text{ m} \quad (6-39)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{8b}}{t_{8b}}; \quad (6-40)$$

$$t_{8b} = \frac{s_{8b}}{v_b} = \frac{1488,87}{22,22} = 67 \text{ s} \quad (6-41)$$

#### 6.1.1.9 Úsek 9

Elektromobil zrychlí z 80 km/h na 90 km/h se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{9a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{25 - 22,22}{2} = \frac{2,78}{2} = 1,39 \text{ s} \quad (6-42)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{9a} = \frac{1}{2} a t_{9a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1,39^2 = 1,93 \text{ m} \quad (6-43)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 500 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{9a}$  vyjde dráha  $s_{9b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 90 km/h:

$$s_{9b} = s_a - s_{9a} = 500 - 1,93 = 498,07 \text{ m} \quad (6-44)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{9b}}{t_{9b}}; \quad (6-45)$$

$$t_{9b} = \frac{s_{9b}}{v_b} = \frac{498,07}{25} = 19,92 \text{ s} \quad (6-46)$$

#### 6.1.1.10 Úsek 10

Elektromobil brzdí z 90 km/h na 70 km/h s brzdným zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$



$$t_{10a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{25 - 19,44}{5,78} = \frac{5,56}{5,78} = 0,96 \text{ s} \quad (6-47)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{10a} - \frac{1}{2} a t_{10a}^2 = 25 \cdot 0,96 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 0,96^2 = 21,33 \text{ m} \quad (6-48)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 700 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_{10}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 70 km/h:

$$s_{10} = s_a - s_{brzd} = 700 - 21,33 = 668,66 \text{ m} \quad (6-49)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{10}}{t_{10b}}; \quad (6-50)$$

$$t_{10b} = \frac{s_{10}}{v_b} = \frac{668,66}{19,44} = 34,91 \text{ s} \quad (6-51)$$

#### 6.1.1.11 Úsek 11

Elektromobil zrychlí ze 70 km/h na 90 km/h se zrychlením  $2 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{11a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{25 - 19,44}{2} = \frac{5,56}{2} = 2,78 \text{ s} \quad (6-52)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{11a} = \frac{1}{2} a t_{11a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2,78^2 = 7,73 \text{ m} \quad (6-53)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 600 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{11a}$  vyjde dráha  $s_{11b}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 90 km/h:

$$s_{11b} = s_a - s_{11a} = 600 - 7,73 = 592,27 \text{ m} \quad (6-54)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{11b}}{t_{11b}}; \quad (6-55)$$

$$t_{11b} = \frac{s_{11b}}{v_b} = \frac{592,27}{25} = 23,69 \text{ s} \quad (6-56)$$

#### 6.1.1.12 Úsek 12

Elektromobil brzdí z 90 km/h na 50 km/h s brzdným zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{12a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{25 - 13,88}{5,78} = \frac{11,12}{5,78} = 1,92 \text{ s} \quad (6-57)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{12a} - \frac{1}{2} a t_{12a}^2 = 25 \cdot 1,92 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 1,92^2 = 37,34 \text{ m} \quad (6-58)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 3400 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_{12}$ , ze které určíme, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_{12} = s_a - s_{brzd} = 3400 - 37,34 = 3362,66 \text{ m} \quad (6-59)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{12}}{t_{12b}}; \quad (6-60)$$

$$t_{12b} = \frac{s_{12}}{v_b} = \frac{3362,66}{13,88} = 242,26 \text{ s} \quad (6-61)$$

#### 6.1.1.13 Úsek 13

Elektromobil zrychlí z 50 km/h na 90 km/h se zrychlením  $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ :

$$t_{13a} = \frac{v_b - v_a}{a} = \frac{25 - 13,88}{2,5} = \frac{11,12}{2,5} = 4,45 \text{ s} \quad (6-62)$$

Vzdálenost ujetá elektromobilem při zrychlení tedy je:

$$s_{13a} = \frac{1}{2} a t_{13a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 4,45^2 = 24,75 \text{ m} \quad (6-63)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 600 m. Po odečtení dráhy zrychlení  $s_{13a}$  vyjde dráha  $s_{13b}$ , ze které určí, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 80 km/h:

$$s_{13b} = s_a - s_{13a} = 600 - 24,75 = 575,25 \text{ m} \quad (6-64)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{13b}}{t_{13b}}; \quad (6-65)$$

$$t_{13b} = \frac{s_{13b}}{v_b} = \frac{575,25}{25} = 23,01 \text{ s} \quad (6-66)$$

#### 6.1.1.14 Úsek 14

Elektromobil brzdí z 90 km/h na 70 km/h s brzdícím zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{14a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{25 - 19,44}{5,78} = \frac{5,56}{5,78} = 0,96 \text{ s} \quad (6-67)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{14a} - \frac{1}{2} a t_{14a}^2 = 25 \cdot 0,96 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 0,96^2 = 21,33 \text{ m} \quad (6-68)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 200 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  vyjde dráha  $s_{14}$ , ze které určí, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 70 km/h:

$$s_{14} = s_a - s_{brzd} = 200 - 21,33 = 168,66 \text{ m} \quad (6-69)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{14}}{t_{14b}}; \quad (6-70)$$

$$t_{14b} = \frac{s_{14}}{v_b} = \frac{168,66}{19,44} = 8,68 \text{ s} \quad (6-71)$$

#### 6.1.1.15 Úsek 15:

Elektromobil brzdí ze 70 km/h na 50 km/h s brzdícím zpomalením  $a_{brzd} = 5,78 \text{ m.s}^{-2}$

$$t_{15a} = \frac{v_a - v_b}{a_{brzd}} = \frac{19,44 - 13,88}{5,78} = \frac{5,56}{5,78} = 0,96 \text{ s} \quad (6-72)$$

Brzdná dráha poté bude:

$$s_{brzd} = v_0 t_{15a} - \frac{1}{2} a t_{15a}^2 = 19,44 \cdot 0,96 - \frac{1}{2} \cdot 5,78 \cdot 0,96^2 = 21,32 \text{ m} \quad (6-73)$$

Celková dráha úseku  $s_a$  je 3300 m. Po odečtení brzdné dráhy  $s_{brzd}$  a  $s_{brzd2}$  vyjde dráha  $s_{15}$ , ze které určí, jak dlouho se elektromobil bude pohybovat rychlostí 50 km/h:

$$s_{15} = s_a - s_{brzd} - s_{brzd2} = 3300 - 21,32 - 21,66 = 3257,02 \text{ m} \quad (6-74)$$

Na tomto úseku se elektromobil dále pohybuje rovnoměrným pohybem, platí tedy vztah:

$$v_b = \frac{s_{15}}{t_{15b}}; \quad (6-75)$$

$$t_{15b} = \frac{s_{15}}{v_b} = \frac{3257,02}{13,88} = 234,65 \text{ s} \quad (6-76)$$

### 6.1.2 Tabulka vypočtených a naměřených hodnot - trasa pro druhou koncepci

úsek číslo	dráha [m]	zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}$ ]	rychlost [km/h]	čas [s]
1 - rozjezd	32,15	3	0	4,46
1 - rovnoměrný pohyb	1567,85		50	112,96
2 - zrychlení	6,16	2,5		2,22
2 - rovnoměrný pohyb	363,84		70	20,26
3 - zpomalení	21,32	-5,78		0,96
3 - rovnoměrný pohyb	478,68		50	34,48
4 - zrychlení	13,9	2,5		3,336
4 - rovnoměrný pohyb	3386,1		80	152,4
5 - zpomalení	26	-5,78		1,44
5 - rovnoměrný pohyb	1874		50	135
6 - zrychlení	24,75	2,5		4,45
6 - rovnoměrný pohyb	1775,25		90	71,01
7 - zpomalení	37,34	-5,78		1,92
7 - rovnoměrný pohyb	2362,66		50	170,22
8 - zrychlení	11,13	2,5		3,336
8 - rovnoměrný pohyb	1488,87		80	67
9 - zrychlení	1,93	2		1,39
9 - rovnoměrný pohyb	498,07		90	19,92
10 - zpomalení	21,33	-5,78		0,96
10 - rovnoměrný pohyb	668,66		70	34,91
11 - zrychlení	7,73	2,5		2,78
11 - rovnoměrný pohyb	592,27		90	23,69
12 - zpomalení	37,34	-5,78		1,92
12 - rovnoměrný pohyb	3362,66		50	242,26
13 - zrychlení	24,75	2,5		4,45
13 - rovnoměrný pohyb	575,25		90	23,01
14 - zpomalení	21,33	-5,78		0,96
14 - rovnoměrný pohyb	168,66		70	8,68
15 - zpomalení	21,32	-5,78		0,96
15 - rovnoměrný pohyb	3257,02		50	234,65
15 - zastavení	21,66	-5,78	0	2,4

*Tab. 4 naměřené a vypočtené hodnoty na trase pro druhou koncepci*

## 7 Samotný výpočet výkonů potřebných k projetí trasy a následné dimenzování akumulátoru

Pro výpočet jízdních výkonů jsem použil tabulkový editor MS Exel 2007. Vytvořil jsem v něm 4 tabulky (Tab. 6. - 9.), kdy každá z nich představuje jednu část výpočtu.

Výstupem je suma všech hodnot jednotlivých úseků, kdy tedy získáváme představu o celkovém výkonu, potřebném pro překonání jízdních odporů a energii, kterou je třeba získat ze zdroje.

### 7.1 Výpočet pro první koncepci a první trasu

Hodnoty konstant, které zadávám, pro tuto koncepci jsou:

$c_x$ [-]	0,3
$S_x$ [m <sup>2</sup> ]	1,6
rychlost větru $v_v$ [m.s <sup>-1</sup> ]	4,7
$f_k$ [-]	0,02
Hmotnost vozidla [kg]	1450

Tab. 5 hodnoty konstant pro první koncepci

Pro odečítání nadmořských výšek pro každý úsek využiji obrázku Obr. 6 a budu je odečítat podle délky jednotlivých úseků z tabulky Tab. 3.

Nyní již samotné výpočty:

#### 7.1.1 První tabulka z programu MS Exel 2007

Do první tabulky zadáme parametry elektromobilu popsané v kapitole 3.2 a 3.3, které ovlivňují jízdní odpory po celé délce trasy. Jedná se o odpor větru a valivý odpor. Proto se do tabulky zadává hmotnost vozidla, jeho konstanta vzdušného odporu  $c_x$ , čelní plocha  $S_x$  a konstanta valivého tření  $f_k$  pro daný typ povrchu a cosinus úhlu svahu. Jako rychlost větru uvažuji pro zjednodušení hodnotu 4,7 m.s<sup>-1</sup> a rychlost  $v_r$  dopočítávám dle aktuální rychlosti vektorovým součtem podle vztahu (1-8). Pro výpočet odporu používám vzorec (1-1) a (1-7). Výsledek se přepisuje do Tab. 8.

Číslo úseku	Odpor vzduchu + valivý odpor [N]	Rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	$c_x$ [-]	$S_x$ [m <sup>2</sup> ]	$v_r$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$f_k$ [-]	Hmotnost vozidla [kg]	cos $\alpha$
1	348,91	13,88	0,3	1,6	14,65	0,02	1450	0,999997426
2	404,49	19,44	0,3	1,6	20,00	0,02	1450	0,999991227
3	439,24	22,22	0,3	1,6	22,71	0,02	1450	1
4	348,61	13,88	0,3	1,6	14,65	0,02	1450	0,998946681
5	404,48	19,44	0,3	1,6	20,00	0,02	1450	0,999948764
6	439,23	22,22	0,3	1,6	22,71	0,02	1450	0,999980261
7	374,38	16,66	0,3	1,6	17,31	0,02	1450	0,999975631
8	439,23	22,22	0,3	1,6	22,71	0,02	1450	0,999976834
9	348,89	13,88	0,3	1,6	14,65	0,02	1450	0,999929573

Tab. 6 výpočet odporu vzduchu a valivého odporu

### 7.1.2 Druhá tabulka z programu MS Exel 2007

Do druhé tabulky zadávám hodnoty pro výpočet jízdního odporu, který se neustále mění v průběhu cesty. Jedná se o odpor stoupání/klesání. Hodnoty jsou nadmořská výška na začátku úseku a nadmořská výška na konci úseku. Když známe ještě velikost délky každého úseku (Tab. 8) můžeme pomocí goniometrické funkce vyjádřit úhel sklonu svahu  $\alpha$  jako poměr rozdílu nadmořské výšky na konci trasy a na začátku trasy a délky úseku. Hodnoty rozdílu nadmořských výšek zde bude představovat protilehlou stranu pomyslného trojúhelníku (viz Obr. 1) a délka úseku jeho přeponu. Úhel tedy budu moci vyjádřit jako:

$$\sin \alpha = \frac{\text{protilehlá strana}}{\text{přepona}} \quad (7-1)$$

Nutno podotknout, že díky avizovaným zjednodušením je hodnota úhlu sklonu svahu brána z hodnot nadmořských výšek pouze na začátku a konci daného úseku. Ten je mnohdy dlouhý i několik kilometrů, proto zde úhly nevycházejí příliš velké. Tuto nepřesnost by mělo odstranit použití GPS navigace, která bude zmíněna v konečné úvaze v závěru této práce.

Číslo úseku	Sklon svahu s [sin úhlu]	Nadmořská výška na začátku úseku [m]	Nadmořská výška na konci úseku [m]	Velikost úhlu sklonu svahu [°]
1	-0,002363667	218	211	-0,13
2	0,004333569	211	214	0,24
3	0	214	214	0,00
4	-0,045977011	214	206	-2,63
5	0,010264481	206	209	0,58
6	0,006378481	209	216	0,36
7	0,007109847	216	218	0,40
8	0,006753677	218	222	0,39
9	0,011854602	222	257	0,68

Tab. 7 výpočet sklonu svahu

### 7.1.3 Třetí tabulka z programu MS Exel 2007

Ve třetí tabulce dochází k výpočtu celkového výkonu potřebného k překonání jednotlivých úseků a energie při rovnoměrném pohybu. Zadávané hodnoty jsou délka úseku a rychlost, které čerpám z Tab. 3. Výkon je vypočítán podle vzorce (2-4) a je navýšen ještě o hodnotu účinnosti a spotřebovaná energie je poté získána jako vypočtený výkon za daný čas. Ten získávám jako podíl dráhy a rychlosti přímo z tabulky.

Číslo úseku	Délka úseku [m]	Rychlost [m.s-1]	Odpor stoupání/klesání [N]	Odpor vzduchu + valivý odpor [N]	Výkon potřebný na projetí úseku [W]	Účinnost	Spotřebovaná energie akumulátoru [kWh]
1	2961,5	13,88	-33,62	348,91	<b>5336,87</b>	0,82	<b>0,32</b>
2	692,27	19,44	61,64	404,49	<b>11050,73</b>	0,82	<b>0,11</b>
3	2897,44	22,22	0,00	439,24	<b>11902,21</b>	0,82	<b>0,43</b>
4	174	13,88	-654,00	348,61	<b>0,00</b>	0,82	<b>0,00</b>
5	292,27	19,44	146,01	404,48	<b>13050,49</b>	0,82	<b>0,05</b>
6	1097,44	22,22	90,73	439,23	<b>14360,64</b>	0,82	<b>0,20</b>
7	281,3	16,66	101,13	374,38	<b>9660,99</b>	0,82	<b>0,05</b>
8	592,27	22,22	96,07	439,23	<b>14505,23</b>	0,82	<b>0,11</b>
9	2952,44	13,88	168,63	348,89	<b>8759,96</b>	0,82	<b>0,52</b>
<b>suma</b>					<b>88627,11</b>		<b>1,78</b>

Tab. 8 výpočet výkonů a energií pro rovnoměrný pohyb

### 7.1.4 Čtvrtá tabulka z programu MS Exel 2007

Zde vypočítávám výkony a energie elektromobilu při zrychlování na začátku trasy a mezi jednotlivými úseky. Odpor stoupání a valivý odpor, stejně jako odpor stoupání/klesání přepisuji z Tab. 6 a 7. Novým odporem zde je odpor zrychlení, který vypočítávám jako odpor posuvné části elektromobilu ze vztahu (1-9). Správně by měl být ještě započítán odpor posuvných částí vozidla, nepodařilo se mi ale nikde dohledat součinitel pro daný elektromobil a proto ve výpočtu není zahrnut. Ve chvíli, kdy by byla známa jeho hodnota, jednoduše se přidá do výpočetní tabulky a jeho hodnota se promítne ve výsledcích.

Číslo úseku	Délka úseku [m]	Čas [s]	Zrychlení [m.s-2]	Odpor stoupání/klesání [N]	Odpor vzduchu + valivý odpor [N]	Odpor zrychlení [N]	Střední rychlost [m.s-1]	Výkon potřebný k projetí úseku [W]	Spotřebovaná energie akumulátoru [kWh]
1	38,5	5,55	2,5	-33,62	348,91	3625	6,94	<b>33333,59</b>	<b>0,05</b>
2	7,73	2,78	2	61,64	404,49	2900	2,78	<b>11414,37</b>	<b>0,01</b>
3	2,56	1,85	1,5	0,00	439,24	2175	1,38	<b>4411,63</b>	<b>0,00</b>
5	7,73	2,78	2	146,01	404,48	2900	2,78	<b>11700,40</b>	<b>0,01</b>
6	2,56	1,85	1,5	90,73	439,23	2175	1,38	<b>4564,73</b>	<b>0,00</b>
8	7,73	2,78	2	96,07	439,23	2900	2,78	<b>11648,90</b>	<b>0,01</b>
<b>suma</b>								<b>77073,63</b>	<b>0,08</b>

Tab. 9 výpočet výkonů a energií pro zrychlený pohyb

### 7.1.5 Zhodnocení první koncepce a první trasy

Celkovou energii, kterou tedy elektromobil první koncepce odebere z akumulátoru, na trase pro první koncepci, získám jako součet sumy energií v Tab. 8 a v Tab. 9. Výsledná hodnota je 1,86 kWh na trase dlouhé 12,1 km. Když ještě připočítám  $14 \times 0,05$  kWh (14 rozjezdů na křižovatkách, či řízených přechodech pro chodce) dostanu hodnotu 2,56 kWh. Celková energie, kterou je akumulátor od výrobce první koncepce schopen dodat, je 16 kWh. Dostávám tedy celkový dojezd automobilu v městských podmínkách na jedno nabití 75 km. Údaj je však velmi závislý na stylu jízdy, počtu křižovatek, kde automobil zastaví, počet předjíždění a celkové dopravní situaci.

Délka trasy na jedno nabití [km]	Spotřebovaná energie [kWh]
1	0,21
10	2,10
20	4,20
30	6,30
40	8,40
50	10,50
60	12,6
70	14,7
80	16,8
90	18,9
100	21

Tab. 10 přehled potřebné energie akumulátoru podle požadované vzdálenosti

Podle Tab. 10 je možno nadimenzovat akumulátor v závislosti na tom, jak dlouhou trasu v městském provozu chceme denně jezdit. Jako zajímavou bych viděl možnost, že každý majitel elektromobilu, který své vozidlo chce využívat ke každodennímu cestování do práce a zpět si podle délky této trasy vybere akumulátor přímo na míru pro své potřeby.

### 7.2 Výpočet pro druhou koncepci a druhou trasu

Hodnoty konstant pro tuto koncepci jsou:

$c_x$ [-]	0,28
$S_x$ [m <sup>2</sup> ]	1,8
rychlost větru $v_v$ [m.s <sup>-1</sup> ]	4,7
$f_k$ [-]	0,02
Hmotnost vozidla [kg]	1750

Tab. 11 hodnoty konstant pro druhou koncepci



### 7.2.1 První tabulka z programu MS Exel 2007

Výpočet analogický ke kapitole 7.1.1, pouze s dosazenými jinými hodnotami.

Číslo úseku	Odpor vzduchu + valivý odpor [N]	Rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	c <sub>x</sub> [-]	S <sub>x</sub> [m <sup>2</sup> ]	v <sub>r</sub> [m.s <sup>-1</sup> ]	f <sub>k</sub> [-]	Hmotnost vozidla [kg]	cos α
1	410,97	13,88	0,28	1,8	14,65	0,02	1750	0,999927487
2	469,33	19,44	0,28	1,8	20,00	0,02	1750	0,999939549
3	410,87	13,88	0,28	1,8	14,65	0,02	1750	0,999634101
4	505,79	22,22	0,28	1,8	22,71	0,02	1750	0,999882054
5	410,98	13,88	0,28	1,8	14,65	0,02	1750	0,999948764
6	547,15	25	0,28	1,8	25,44	0,02	1750	0,999909698
7	410,94	13,88	0,28	1,8	14,65	0,02	1750	0,999844634
8	505,70	22,22	0,28	1,8	22,71	0,02	1750	0,999605227
9	546,79	25	0,28	1,8	25,44	0,02	1750	0,998839998
10	468,61	19,44	0,28	1,8	20,00	0,02	1750	0,997836032
11	547,18	25	0,28	1,8	25,44	0,02	1750	0,999987191
12	410,99	13,88	0,28	1,8	14,65	0,02	1750	0,999993908
13	547,18	25	0,28	1,8	25,44	0,02	1750	0,999986292
14	469,33	19,44	0,28	1,8	20,00	0,02	1750	0,999929573
15	410,99	13,88	0,28	1,8	14,65	0,02	1750	0,999999025

Tab. 12 výpočet odporu vzduchu a valivého odporu

### 7.2.2 Druhá tabulka z programu MS Exel 2007

Výpočet analogický ke kapitole 7.1.2, pouze s dosazenými jinými hodnotami.

Číslo úseku	Sklon svahu s [sin úhlu]	Nadmořská výška na začátku úseku [m]	Nadmořská výška na konci úseku [m]	Velikost úhlu sklonu svahu [°]
1	-0,012118506	257	238	-0,69
2	0,011007155	238	242	0,63
3	0,027158018	242	255	1,55
4	0,010336375	255	290	0,88
5	0,01547492	290	319	0,58
6	0,013519223	319	343	0,77
7	0,017776574	343	385	1,01
8	-0,028209313	385	343	-1,61
9	-0,048185998	343	319	-2,76
10	-0,065803248	319	275	-3,77
11	-0,005065257	275	272	-0,29
12	-0,003568603	272	260	-0,20
13	-0,005215124	260	257	-0,30
14	-0,011858176	257	255	-0,68
15	0,001535146	255	260	0,08

Tab. 13 výpočet sklonu svahu

### 7.2.3 Třetí tabulka z programu MS Exel 2007

Výpočet analogický ke kapitole 7.1.3, pouze s dosazenými jinými hodnotami.

Číslo úseku	Délka úseku [m]	Rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	Odpor Stoupání/Klesání [N]	Odpor vzduchu + valivý odpor [N]	Výkon potřebný na projetí úseku [W]	Účinnost	Spotřebovaná energie akumulátoru [kWh]
1	1567,85	13,88	-208,04	410,97	3434,88	0,82	0,11
2	363,4	19,44	188,97	469,33	15606,43	0,82	0,08
3	478,68	13,88	466,24	410,87	14846,59	0,82	0,14
4	3386,1	22,22	177,45	505,79	18514,19	0,82	0,78
5	1874	13,88	265,67	410,98	11453,41	0,82	0,43
6	1775,25	25	232,09	547,15	23757,43	0,82	0,47
7	2362,66	13,88	305,18	410,94	12121,65	0,82	0,57
8	1488,87	22,22	-484,28	505,70	580,26	0,82	0,01
9	498,07	25	-827,23	546,79	0,00	0,82	0,00
10	668,66	19,44	-1129,68	468,61	0,00	0,82	0,00
11	592,27	25	-86,96	547,18	14031,13	0,82	0,09
12	3362,66	13,88	-61,26	410,99	5919,79	0,82	0,40
13	575,25	25	-89,53	547,18	13952,68	0,82	0,09
14	168,66	19,44	-203,58	469,33	6300,26	0,82	0,02
suma					147921,64		3,67

Tab. 14 výpočet výkonů a energií pro rovnoměrný pohyb

### 7.2.4 Čtvrtá tabulka z programu MS Exel 2007

Výpočet analogický ke kapitole 7.1.4, pouze s dosazenými jinými hodnotami.

Číslo úseku	Délka úseku [m]	Čas [s]	Zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ]	Odpor Stoupání/Klesání [N]	Odpor vzduchu + valivý odpor [N]	Odpor zrychlení [N]	Střední rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	Výkon potřebný k projetí úseku [W]	Spotřebovaná energie akumulátoru [kWh]
1	32,15	4,46	3	-208,04	410,97	5250	7,21	47936,00	0,06
2	6,16	2,22	2,5	188,97	469,33	4375	2,77	17032,03	0,01
4	13,9	3,336	2,5	466,24	505,79	4375	4,17	27169,86	0,03
6	24,75	4,45	2,5	265,67	547,15	4375	5,56	35187,31	0,04
8	11,13	3,336	2,5	232,09	505,70	4375	3,34	20802,38	0,02
9	1,93	1,39	2	-484,28	546,79	3500	1,39	6032,31	0,00
11	7,73	2,78	2,5	305,18	547,18	4375	2,78	17725,69	0,01
13	24,75	4,45	2,5	-484,28	547,18	4375	5,56	30100,82	0,04
suma								201986,40	0,21

Tab. 15 výpočet výkonů a energií pro zrychlený pohyb

### 7.2.5 Zhodnocení druhé koncepce a druhé trasy

Celkovou energii, kterou elektromobil druhé koncepce odebere z akumulátoru, na trase pro druhou koncepci, získám jako součet sumy energií v Tab. 14 a v Tab. 15. Výsledná hodnota je 3,88 kWh na trase dlouhé 24,8 km. Celková energie, kterou je akumulátor od výrobce druhé koncepce schopen dodat, je 42, 65 a 85 kWh. Dostávám tedy celkový dojezd automobilu v meziměstských

podmínkách na jedno nabití 269, 415 a 543 km. Údaj je však velmi závislý na stylu jízdy, jízdním profilu terénu a aktuální dopravní situaci.

Délka trasy na jedno nabití [km]	Spotřebovaná energie [kWh]
1	0,16
10	1,56
20	3,12
30	4,68
40	6,24
50	7,80
100	15,6
200	31,2
300	46,8
400	62,4
500	78
1000	156

*Tab. 16 přehled potřebné energie akumulátoru podle požadované vzdálenosti*

Opět předkládám tabulku předpokládané kapacity pro určité vzdálenosti. Myslím, že elektromobil druhé koncepce splňuje požadavky, které uživatel očekává pro vozidlo určené na delší a dlouhé cesty na jedno nabití.

## Závěr

Matematický a fyzikální model automobilu (elektromobilu) patří určitě k těm složitějším otázkám z oblasti simulací a popisu systémů. Navíc, když se automobil pohybuje v neustále se měnícím prostředí a je řízen člověkem, který vyniká svou individualitou a obecnou nepopsatelností. Proto se již od začátku celá dimenzace kapacity akumulátoru musí opírat o celou řadu zjednodušení, která pomáhají více či méně přesně popsat jízdní trasy automobilu a jízdní odpory, které na něj během cesty působí. Tyto odpory byly v první části práce popsány a vysvětleny.

Ve druhé části jsem se zaměřil na popis jednotlivých koncepcí elektromobilu a tras, po kterých se budou pohybovat. Je nesčetné množství možností, jak k tomuto problému přistupovat, proto jsem se snažil o zobecnění, aby v případně jakékoli změny nebo nového zadání bylo možno jen přepsat konstanty a určit nové parametry, ale celková koncepce zůstala zachována. U každé trasy jsem zvolil pravděpodobné jízdní úkony, které jsem poté matematicky a fyzikálně konkrétně vyřešil. Elektromobily, které jsem vybral, patří každý ke zcela odlišné kategorii. Vidíme zde diametrální rozdíly mezi funkčností a efektivitou na jedné straně a elegancí a výkonem na straně druhé. Proto se první z nich hodí vyloženě na menší pojižděky po městě a druhý je určen spíše na dlouhé trasy a co nejvyšší možný komfort.

Ve třetí části jsem se snažil vytvořit výpočetní tabulky, do kterých se zadají hodnoty parametrů elektromobilu a jednotlivých úseků daných tras. Výsledkem je výkon potřebný k překonání jízdních odporů a energie, která bude při tomto odčerpána z akumulátoru. Podle toho se dá určit dojezd elektromobilu na jedno nabití i jeho spotřeba na jednotlivých částech trasy. Uvědomuji si, že jízda elektromobilu je popsána s dosti velkým zjednodušením. Jistě proto mnou vypočtené hodnoty nebudou korespondovat se skutečnými, které by byly naměřeny během reálné jízdy daným elektromobilem. Jedná se spíše o ukázkou, jak je možno postupovat při řešení tohoto problému a vytvořit obecné schéma řešení v programu MS Excel 2007, do kterého se dají zadat hodnoty dle přání uživatele.

Jako zajímavá se mi jeví možnost využití GPS navigace, která by odměřovala během jízdy neustále hodnoty ujeté vzdálenosti, čas a nadmořskou výšku a přes vhodné softwarové vybavení načítala tyto hodnoty do těchto tabulek. Uživatel by na začátku trasy zadal hodnoty konstant svého vozidla a trasy ( $c_X$ ,  $S_X$ ,  $f_K$ , hmotnost, případně průměrnou rychlost větru) a poté během cesty by dostával dle charakteru jízdy a profilu trasy informace o odebíraném výkonu a energii. Dimenzace akumulátoru by se tímto zpřesnila a zefektivnila.

## Seznam použité literatury

- [1] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.1, Odpor valivý s. 21-25.
- [2] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.2, Odpor stoupání s. 31-32.
- [3] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.3, Odpor vzdušný s. 25-26.
- [4] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.3, Odpor vzdušný s. 27-28.
- [5] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.3, Odpor vzdušný s. 29-30.
- [6] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.4, Odpor zrychlení s. 32-34.
- [7] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.5, Odpor přivěsu s. 35.
- [8] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 2.6, Celkový jízdní odpor, potřebná hnací síla s. 35-36.
- [9] *Elektromobil – wikipedia* [Online] URL: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromobil> > [Citace: 7.5.2011.]
- [10] *Rekuperace – wikipedia* [Online] URL: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rekuperace> > [Citace: 7.5.2011.]
- [11] *Mitsubitchi i-Miev specification* [Online] URL: < <http://www.mitsubishicars.co.uk/imiev/specifications.aspx> > [Citace: 7.5.2011.]
- [12] **Vlk, F.** *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2005, str. 434 s. ISBN 80-239-0024-2. Kapitola 6.2.3, Přípustná brzdná dráha s. 124.
- [13] *Tesla model S technology* [Online] URL: < <http://www.teslamotors.com/models/technology> > [Citace: 8.5.2011.]
- [14] *Tesla model S – wikipedia* [Online] URL: < [http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Model\\_S](http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S) > [Citace: 8.5.2011.]

## **Přílohy**

Jako přílohy jsou na přiloženém CD uvedeny dva soubory MS Excel 2007, ve kterých jsou výpočetní tabulky pro každou koncepci.

A - priloha\_1\_tabulky\_vypoctu\_prvni\_koncepce

B - priloha\_2\_tabulky\_vypoctu\_druha\_koncepce